

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

IN RE APPLICATION OF: Jean-Louis GERSTENMAYER, et al

SERIAL NO.: NEW U.S. PCT APPLICATION

FILED: HEREWITH

INTERNATIONAL APPLICATION NO.: PCT/FR00/00448

INTERNATIONAL FILING DATE: 23 February 2000

FOR: BIDIMENSIONAL DETECTOR OF IONIZING RADIATION AND  
MANUFACTURING PROCESS FOR THIS DETECTOR**REQUEST FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119**  
**AND THE INTERNATIONAL CONVENTION**Assistant Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

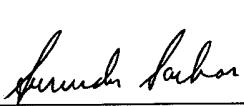
Sir:

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicant claims as priority:

<b><u>COUNTRY</u></b>	<b><u>APPLICATION NO.</u></b>	<b><u>DAY/MONTH/YEAR</u></b>
FRANCE	99/02289	24 February 1999

A certified copy of the corresponding Convention application(s) was submitted to the International Bureau in PCT Application No. **PCT/FR00/00448**. Receipt of the certified copy(s) by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.

Respectfully submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.**22850**(703) 413-3000  
Fax No. (703) 413-2220  
(OSMMN 1/97)

---

Marvin J. Spivak  
Attorney of Record  
Registration No. 24,913  
Surinder Sachar  
Registration No. 34,423





T/FR 00/00448

- 7 MARS 2000

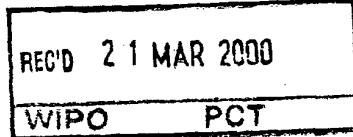
# 4  
20 Nov 01  
R. Talbot

FR 00 / 448  
EJU

# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

**COPIE OFFICIELLE**



Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le **02 MARS 2000**

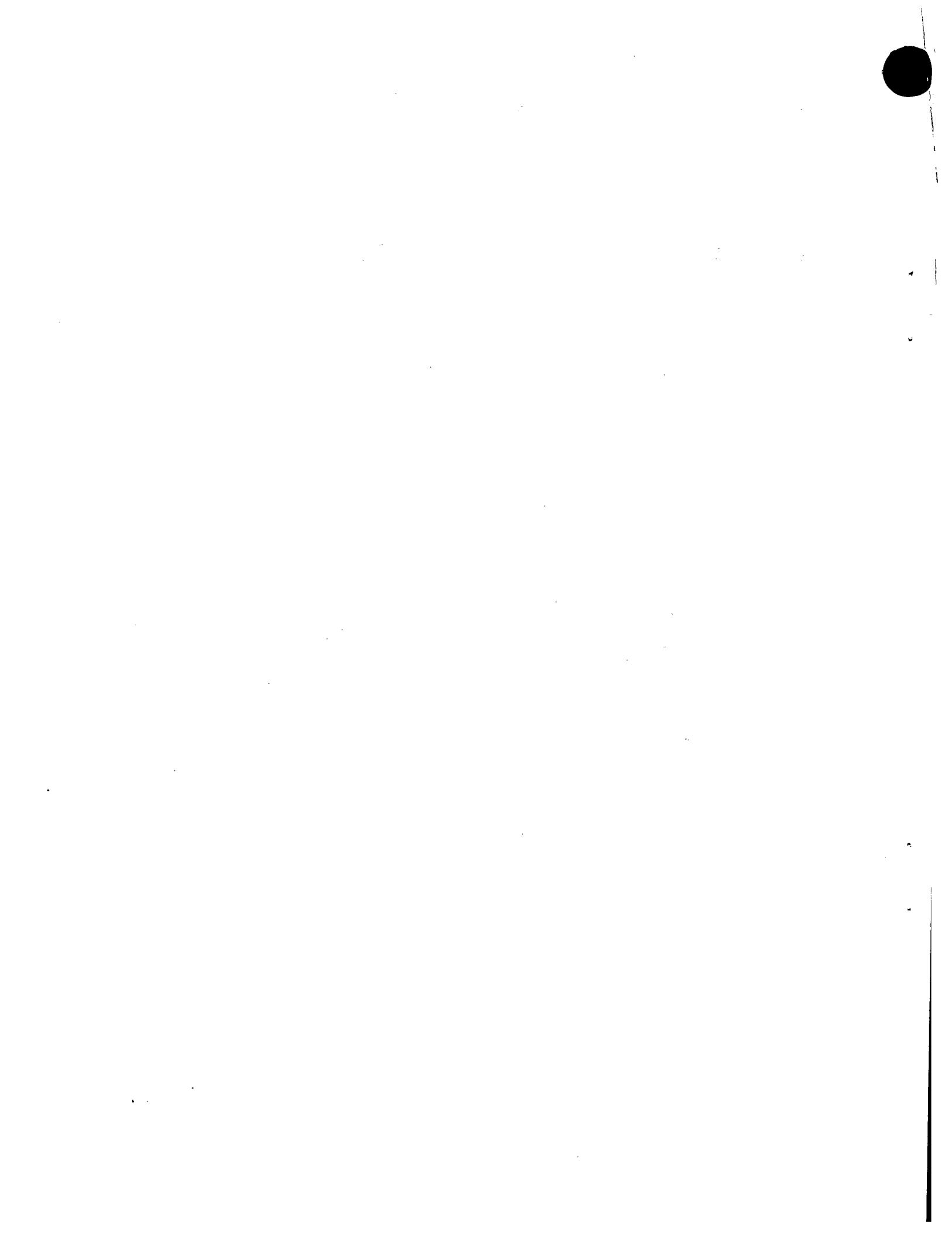
Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

## DOCUMENT DE PRIORITE

PRESENTÉ OU TRANSMIS  
CONFORMEMENT A LA REGLE  
17.1.a) OU b)

<b>INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIETE INDUSTRIELLE</b>	<b>SIEGE</b> 26 bis, rue de Saint Petersbourg 75800 PARIS Cedex 08 Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30
---	--





INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

Code de la propriété intellectuelle

N° 55-1328

## REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

Confirmation d'un dépôt par télécopie

Cet imprimé est à remplir à l'encre noire en lettres capitales

Réserve à l'INPI

<b>DATE DE REMISE DES PIÈCES</b> <b>24 FEV 1999</b> <b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL</b> <b>9902289</b> <b>DÉPARTEMENT DE DÉPÔT</b> <b>75 INPI PARIS</b> <b>DATE DE DÉPÔT</b> <b>24 FEV. 1999</b>		<b>1</b> <b>NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> <b>À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE</b> <b>BREVATOME</b> <b>3, rue du Docteur Lancereaux</b> <b>75008 PARIS</b> <b>422-5/S002</b>	
<b>2 DEMANDE</b> Nature du titre de propriété industrielle <input checked="" type="checkbox"/> brevet d'invention <input type="checkbox"/> demande divisionnaire <input type="checkbox"/> certificat d'utilité <input type="checkbox"/> transformation d'une demande de brevet européen <input type="checkbox"/> demande initiale <input type="checkbox"/> brevet d'invention <input type="checkbox"/> différencié <input checked="" type="checkbox"/> immédiat		n° du pouvoir permanent <b>07068</b> du <b>12.06.98</b> références du correspondant <b>B 13094.3/PV</b> téléphone <b>01 53 83 94 00</b> <input type="checkbox"/> certificat d'utilité n° <b>UD 188</b> date	
<b>Établissement du rapport de recherche</b> <input type="checkbox"/> différencié <input checked="" type="checkbox"/> immédiat Le demandeur, personne physique, requiert le paiement échelonné de la redevance <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <b>Titre de l'invention</b> (200 caractères maximum) <b>DETECTEUR BIDIMENSIONNEL DE RAYONNEMENTS IONISANTS ET PROCÉDÉ DE FABRICATION DE CE DETECTEUR.</b>			
<b>3 DEMANDEUR (S)</b> n° SIREN Nom et prénoms (souligner le nom patronymique) ou dénomination		code APE-NAF : <b>COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE</b> <b>Etablissement de Caractère Scientifique, Technique et Industriel</b> <b>Forme juridique</b>	
<b>Nationalité (s)</b> <b>Française</b> <b>Adresse (s) complète (s)</b> <b>31, 33 rue de la Fédération 75015 PARIS</b>		<b>Pays</b> <b>France</b>	
<input type="checkbox"/> En cas d'insuffisance de place, poursuivre sur papier libre			
<b>4 INVENTEUR (S)</b> Les inventeurs sont les demandeurs <input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non Si la réponse est non, fournir une désignation séparée			
<b>5 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b> <input type="checkbox"/> requise pour la 1ère fois <input type="checkbox"/> requise antérieurement au dépôt : joindre copie de la décision d'admission			
<b>6 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE</b> pays d'origine <b>France</b> numéro <b>422-5/S002</b> date de dépôt <b>24 FEV 1999</b> nature de la demande			
<b>7 DIVISIONS</b> antérieures à la présente demande n° date n° date			
<b>8 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (nom et qualité du signataire) <b>B. MORIN</b> <b>422-5-S002</b>		SIGNATURE DU PRÉPOSÉ À LA RÉCEPTION SIGNATURE APRÈS ENREGISTREMENT DE LA DEMANDE À L'INPI	



INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

DEPARTEMENT DES BREVETS B 13094.3/PV  
26bis, rue de Saint-Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Tél. : 01 53 04 53 04 - Télécopie : 01 42 93 59 30

# BREVET D'INVENTION, CERTIFICAT D'UTILITÉ

## DÉSIGNATION DE L'INVENTEUR

(si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

9902289

### TITRE DE L'INVENTION :

DETECTEUR BIDIMENSIONNEL DE RAYONNEMENTS IONISANTS ET PROCÉDÉ  
DE FABRICATION DE CE DETECTEUR.

### LE(S) SOUSSIGNÉ(S)

B. MORIN  
c/o BREVATOME  
25 rue de Ponthieu  
75008 PARIS

DÉSIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) (indiquer nom, prénoms, adresse et souligner le nom patronymique) :

Jean Louis GERSTENMAYER	Résidence Les Pampres, Avenue de Champagne 91940 LES ULIS
Serge MAITREJEAN	202 Bld de Charonne 75020 PARIS
Claude HENNION	12 rue de la Glacière 75013 PARIS
Irène DORION	19 rue des Lombards 75014 PARIS
Pascal DESAUTE	Résidence EMPCI, 76 rue Georges Bouzerait 92120 MONTROUGE

### FRANCE

NOTA : A titre exceptionnel, le nom de l'inventeur peut être suivi de celui de la société à laquelle il appartient (société d'appartenance) lorsque celle-ci est différente de la société déposante ou titulaire.

Date et signature (s) du (des) demandeur (s) ou du mandataire

PARIS LE 24 F2VRIER 1999

B. MORIN  
422-5/S002

DÉTECTEUR BIDIMENSIONNEL DE RAYONNEMENTS IONISANTS ET  
PROCÉDÉ DE FABRICATION DE CE DÉTECTEUR

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

5 La présente invention concerne un détecteur bidimensionnel de rayonnements ionisants ainsi qu'un procédé de fabrication de ce détecteur.

10 Les rayonnements ionisants que l'on détecte avec l'invention peuvent être constitués notamment de rayons X, de photons gamma, de protons, de neutrons ou de muons.

15 Le détecteur objet de l'invention permet de convertir un rayonnement ionisant incident en des particules également ionisantes, par exemple des électrons, dont l'exploitation est plus facile que celle de ce rayonnement ionisant incident.

L'invention s'applique notamment aux domaines suivants :

- radiographie instantanée d'objets très absorbants et/ou très volumineux,
- cinéradiographie ultrarapide de mobiles mécaniques,
- positionnement de patients en radiothérapie,
- physique des hautes énergies,
- neutronographie,
- protonographie,
- imagerie médicale et biologique (tomographies par émission de positrons), et

- imagerie par ouvertures codées pour inspecter des objets volumineux, faiblement radioactifs, ou des colis suspects, de façon passive ou très faiblement intrusive.

## 5 ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

On connaît déjà des détecteurs bidimensionnels de rayonnements ionisants qui sont constitués de plaques faites d'un métal lourd comme le plomb ou, plus précisément, d'un matériau ayant une 10 haute section efficace (« cross section ») d'interaction vis-à-vis d'un rayonnement ionisant incident.

A titre d'exemple, il est connu d'utiliser un métal de numéro atomique  $Z$  supérieur ou égal à 73 15 pour la détection de photons X ou gamma et un métal de numéro atomique  $Z$  généralement inférieur à 14 ou supérieur à 90 pour la détection de neutrons.

D'autres matériaux, tels que le Gadolinium (Z=64) sont également utilisables pour détecter des 20 neutrons.

Les plaques sont percées de trous par attaque chimique ou électrochimique et isolées électriquement les unes des autres si cela est nécessaire (lorsque l'épaisseur des plaques vaut 25 quelques centaines de micromètres ou plus).

Les trous sont remplis d'un gaz ionisable.

Un photon incident, X ou gamma, de haute énergie, engendre alors, par effet Compton ou effet de création de paires, au moins un électron dans l'une des 30 plaques du détecteur.

Ce photon incident X ou gamma communique à cet électron un mouvement rapide, avec une énergie cinétique de l'ordre de grandeur de celle du photon incident ; cet électron rapide ionise alors certaines molécules du gaz contenu dans l'un des trous auquel parvient l'électron et que ce dernier traverse en général. Les électrons secondaires lents, qui sont arrachés à ces molécules du fait de l'ionisation de ces dernières, sont guidés le long de ce trou et collectés à l'aide d'un champ électrique de polarisation (« bias »), encore appelé champ électrique de dérive (« drift »), puis détectés par exemple dans une chambre à ionisation ou dans une chambre à avalanches proportionnelles.

De tels détecteurs bidimensionnels sont par exemple décrits dans les documents [1], [2], [3], [6] et [7] qui, comme les autres documents cités par la suite, sont mentionnés à la fin de la présente description.

Le choix d'une structure de détection à trous vient de ce qu'une telle structure est connue pour être très favorable à l'obtention d'une bonne résolution spatiale et d'un bon rendement, à condition que les trous soient parfaitement formés et suffisamment larges.

Une attaque chimique (« chemical etching ») est utilisée pour former ces trous : elle est préférée à la découpe par jet d'eau qui engendre un choc frontal lors de l'ouverture du jet, au commencement du perçage d'un trou.

Ce choc frontal écaille le matériau dans lequel on veut former les trous, ce qui provoque un

éclatement de ce matériau et le rend impropre à une utilisation.

Mais l'attaque chimique est une technique lente et coûteuse.

5 De plus, le rendement de collection des électrons secondaires et donc le rendement de ces détecteurs à trous sont limités du fait de l'utilisation de cette technique : seulement 10% à 30% des électrons secondaires créés à chaque ionisation du 10 gaz sont collectés.

En effet, une attaque chimique ne permet pas d'obtenir des trous dont les parois internes soient suffisamment cylindriques car elle engendre des étranglements dans les trous, ce qui déforme les lignes 15 du champ électrique et réduit le diamètre utile de ces trous, d'où un rendement global limité pour les détecteurs à trous.

#### EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour but de 20 remédier à ces inconvénients de coût élevé et de rendement limité et propose pour ce faire un détecteur utilisant des fentes au lieu de trous.

De façon précise, la présente invention a pour objet un détecteur bidimensionnel d'un rayonnement 25 ionisant incident constitué de premières particules, ce détecteur comprenant un bloc formé à partir d'un matériau convertisseur qui est apte à émettre des deuxièmes particules par interaction avec le rayonnement ionisant incident, le bloc ayant une 30 épaisseur au moins égale au dixième du libre parcours moyen des premières particules dans le matériau, ce

détecteur étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre des fentes parallèles qui traversent le bloc et sont remplies d'un milieu fluide capable d'interagir avec les deuxièmes particules pour produire des troisièmes particules, ces dernières étant représentatives, en intensité et en position, du rayonnement incident, le bloc étant orienté de façon à présenter, à ce rayonnement incident, une première face sur laquelle débouchent les fentes.

10 Le détecteur objet de l'invention est réalisable avec un coût beaucoup plus faible que celui des détecteurs à trous, mentionnés plus haut.

15 De plus, le rendement de collection et la résolution spatiale du détecteur objet de l'invention sont susceptibles d'être très supérieurs à ces détecteurs à trous.

Le détecteur objet de l'invention est en outre simple à fabriquer et a une surface utile de détection très importante.

20 Selon un premier mode de réalisation particulier du détecteur objet de l'invention, les fentes sont perpendiculaires à la première face du bloc.

25 Selon un deuxième mode de réalisation particulier, les plans des fentes font un angle de l'ordre de  $1^\circ$  à  $5^\circ$  avec une droite perpendiculaire à cette première face du bloc.

30 Selon un mode de réalisation particulier du détecteur objet de l'invention, le milieu fluide dont sont remplies les fentes est apte à être ionisé par les deuxièmes particules (par exemple des électrons énergétiques produits par effet Compton), ce milieu fluide produisant alors des électrons (du fait de

l'ionisation de ce milieu), électrons qui constituent ainsi les troisièmes particules, et le détecteur comprend en outre des moyens de création d'un champ électrique apte à extraire ces électrons du bloc.

5 Pour ce faire, on utilise par exemple un milieu gazeux ionisable.

Le détecteur peut comprendre en outre des moyens d'analyse des électrons ainsi extraits du bloc.

10 Ces moyens d'analyse peuvent comprendre un amplificateur gazeux à avalanches, apte à produire des avalanches d'électrons à partir des électrons extraits du bloc.

15 Dans ce cas, on peut utiliser un milieu gazeux ionisable, apte à convertir les avalanches d'électrons en un rayonnement lumineux ou ultraviolet et munir les moyens d'analyse de moyens de détection de ce rayonnement lumineux ou ultraviolet.

20 Ces moyens de détection peuvent comprendre une caméra apte à détecter ce rayonnement lumineux ou ultraviolet ou une matrice de photodiodes en silicium amorphe placée contre l'amplificateur gazeux à avalanches.

25 Selon un premier mode de réalisation particulier de l'invention, le matériau est électriquement conducteur et le bloc est un empilement de couches de ce matériau, ces couches alternant avec des couches électriquement isolantes, l'empilement commençant par une couche du matériau au niveau de la première face du bloc et se terminant également par une 30 couche de ce matériau au niveau d'une deuxième face du bloc, qui est opposée à la première face et sur laquelle débouchent les fentes, le détecteur comprenant en outre des moyens prévus pour porter les couches du

matériau à des potentiels électriques qui croissent de la première face à la deuxième face afin de créer le champ électrique.

La couche du matériau qui est située au 5 niveau de la deuxième face du bloc peut être noircie pour éviter les réflexions parasites de lumière notamment ultraviolette.

Selon un deuxième mode de réalisation particulier de l'invention, le matériau est 10 électriquement isolant ou fortement résistif, le bloc est un empilement de couches de ce matériau ou est fait de ce matériau à l'état massif, ce bloc comprenant en outre des première et deuxième couches ou grilles qui sont électriquement conductrices et respectivement 15 formées au niveau de la première face et au niveau d'une deuxième face du bloc, qui est opposée à la première face et sur laquelle débouchent les fentes, le champ électrique étant créé en portant la première couche ou grille à un premier potentiel électrique et 20 la deuxième couche ou grille à un deuxième potentiel électrique qui est supérieur au premier potentiel pour permettre l'extraction (dérive) des troisièmes particules (électrons d'ionisation) créées par l'ionisation du milieu fluide.

Selon un autre mode de réalisation 25 particulier de l'invention, le bloc est un empilement de lames faites d'un matériau convertisseur isolant ou fortement résistif et espacées les unes des autres par des cales prévues pour définir les fentes parallèles du 30 bloc, ce bloc comprenant en outre des première et deuxième couches ou grilles qui sont électriquement conductrices et respectivement formées au niveau de la première face et au niveau d'une deuxième face du bloc,

qui est opposée à la première face et sur laquelle débouchent les fentes, le champ électrique étant créé en portant la première couche ou grille à un premier potentiel électrique et la deuxième couche ou grille à 5 un deuxième potentiel électrique qui est supérieur au premier potentiel.

La présente invention concerne aussi un procédé de fabrication du détecteur objet de l'invention.

10 Selon ce procédé on forme le bloc et l'on forme ensuite les fentes par une technique choisie dans le groupe comprenant :

- la découpe par jet d'eau,
- la découpe par étincelage, et
- 15 - la découpe par un fil tendu déroulant.

Selon un mode de mise en oeuvre particulier du procédé objet de l'invention, utilisable pour la fabrication d'un détecteur conforme au premier ou au deuxième mode de réalisation particulier de l'invention 20 (utilisation d'un matériau conducteur ou d'un matériau isolant ou fortement résistif), les couches utilisées sont collées les unes aux autres.

Avant de former chaque fente, on peut former dans le bloc un avant-trou à partir duquel on 25 forme ensuite cette fente.

#### BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés ci-après, à titre purement indicatif et 30 nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue en perspective schématique d'un mode de réalisation particulier du détecteur objet de l'invention,
- la figure 2 est une vue en coupe transversale schématique du détecteur de la figure 1, selon un plan P indiqué sur celle-ci,
- la figure 3 est une vue en perspective schématique d'un autre détecteur conforme à l'invention,
- la figure 4 est une vue en coupe transversale schématique et partielle d'un autre détecteur conforme à l'invention, et
- la figure 5 illustre schématiquement un autre détecteur conforme à l'invention.

## 15 EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Le détecteur bidimensionnel de rayonnement ionisant conforme à l'invention, qui est schématiquement représenté sur la figure 1, comprend un bloc 2 formé à partir d'un matériau convertisseur, 20 matériau ayant une haute section efficace d'interaction vis-à-vis de ce rayonnement ionisant.

Dans le cas de la figure 1, ce matériau est électriquement conducteur et, comme on le voit sur la figure 2, le bloc est un empilement de couches 4 de ce 25 matériau, ces couches 4 alternant avec des couches électriquement isolantes 6.

L'empilement commence par l'une des couches 4 en la première face 7 du bloc, face par laquelle le rayonnement ionisant pénètre dans le bloc 2, et se 30 termine également par l'une de ces couches 4 en la

deuxième face 8 du bloc, face qui est opposée à la première face.

Dans l'exemple représenté, le détecteur est destiné à détecter des photons X qui ont par exemple 5 une énergie de 5 MeV.

Un photon X incident dont la trajectoire a la référence 9 sur les figures 1 et 2 interagit avec le matériau de l'une des couches 4 pour produire, par effet Compton ou création de paires (électron, 10 positron), un électron de grande énergie cinétique, dont la trajectoire est représentée par la flèche 10 sur la figure 2.

On a également représenté par une flèche 12 la trajectoire du photon d'énergie inférieure à celle 15 du photon X incident, qui résulte de l'interaction de ce dernier avec le matériau.

Le bloc 2 a une épaisseur E (comptée de la première face 7 à la deuxième face 8 du bloc) au moins égale au dixième du libre parcours moyen, dans le 20 matériau conducteur, des photons X incidents, ce qui lui confère son haut pouvoir d'arrêt.

Conformément à l'invention, le détecteur des figures 1 et 2 comprend en outre des fentes parallèles 14.

25 A titre purement indicatif et nullement limitatif, le détecteur est disposé de façon que ces fentes soient horizontales ou, au contraire, verticales mais toute autre orientation est envisageable, suivant l'utilisation qui est faite du détecteur.

30 Les fentes 14 traversent le bloc 2, de la première à la deuxième face de ce dernier, et sont remplies, d'une manière qui sera expliquée par la suite, d'un gaz qui est ionisable par les électrons

résultant de l'interaction du rayonnement X incident avec le matériau conducteur de conversion.

Chaque électron ainsi créé interagit avec ce gaz dans une fente 14 pour produire des ions positifs et des électrons tel que l'ion symbolisé par la flèche 16 et l'électron symbolisé par la flèche 18 sur la figure 2.

On précise que les fentes 14, qui débouchent sur les faces 7 et 8, sont perpendiculaires à ces faces 7 et 8.

Le détecteur des figures 1 et 2 comprend aussi des moyens de création d'un champ électrique apte à extraire du bloc 2 les électrons résultant de l'ionisation du gaz, en provoquant le déplacement de ceux-ci dans les fentes où ils sont créés, vers la face 8.

Ceci est illustré sur la figure 2 pour l'électron dont la trajectoire a la référence 18.

L'ion correspondant à cet électron se dirige quant à lui vers la première face 7 sous l'effet du champ électrique.

Dans l'exemple représenté sur les figures 1 et 2, le champ électrique est créé grâce à des moyens de polarisation prévus pour porter les couches de matériau conducteur 4 à des potentiels électriques qui croissent de la première de ces couches, située au niveau de la première face 7 du bloc, jusqu'à la dernière des couches 4, située au niveau de la deuxième face 8.

On précise que le bloc 2 est placé dans un boîtier hermétiquement fermé 20, contenant le gaz ionisable.

Au lieu de cela, le boîtier 20 pourrait être muni de moyens (non représentés) de circulation et de purification du gaz.

5 Ce boîtier 20 comprend une fenêtre 22 qui est transparente au rayonnement ionisant incident et située en regard de la première face 7 du bloc 2.

Dans l'exemple représenté, il s'agit d'une 10 fenêtre 22 en aluminium qui est transparente aux rayons X incidents. On peut utiliser, si nécessaire, d'autres matériaux.

15 Les moyens de polarisation permettant de porter les couches 4 de matériau conducteur à des potentiels croissants comprennent des résistances électriques R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> ... R<sub>n</sub> montées en série (figure 2).

20 On voit que chaque borne commune à deux résistances électriques adjacentes du montage en série est reliée à l'une des couches 4 du matériau conducteur, la première borne de la première résistance électrique R<sub>1</sub> étant, quant à elle, reliée à la première des couches 4 de matériau conducteur, située en regard de la fenêtre 22, tandis que la deuxième borne de la dernière résistance électrique R<sub>n</sub> est reliée à la dernière des couches 4 de matériau conducteur, située au niveau de la deuxième face 8 du bloc 2.

25 Ces résistances sont formées à l'extérieur du boîtier 20 et connectées aux couches 4 de matériau conducteur à travers des passages électriquement isolants (non représentés) de ce boîtier 20 mais elles peuvent aussi être formées à l'intérieur de ce boîtier.

30 Ces résistances électriques sont par exemple formées par gravure d'une couche conductrice par exemple en or, formée sur un élément (non représenté) en céramique électriquement isolante.

Les valeurs respectives des résistances sont ajustées en amincissant cette couche gravée, en utilisant par exemple une évaporation par laser pour ce faire.

5 On obtient alors les potentiels électriques croissants c'est-à-dire une rampe de potentiels en mettant la première borne de la première résistance  $R_1$  à la masse et en portant le deuxième borne de la dernière résistance  $R_n$  à une haute tension positive.

10 Le détecteur des figures 1 et 2 comprend aussi des moyens d'analyse des électrons qui sont extraits du bloc 2 grâce au champ électrique et qui sortent de celui-ci par la deuxième face 8.

15 Ces moyens d'analyse comprennent un amplificateur gazeux à avalanches 24, qui est apte à produire des avalanches d'électrons à partir de ces électrons extraits du bloc.

20 On voit sur la figure 2 que cet amplificateur 24 comprend deux grilles électriquement conductrices 26 et 28 qui sont placées dans le boîtier 20, en regard de la deuxième face 8 du bloc 2 et qui sont parallèles l'une à l'autre et à cette deuxième face 8.

25 La première grille, qui est la plus proche de cette deuxième face 8, est portée à un potentiel positif, supérieur au potentiel appliqué à la deuxième borne de la dernière résistance électrique  $R_n$ , et la deuxième grille 28 est portée à un potentiel positif, supérieur au potentiel appliqué à la première grille 26.

30 Dans l'exemple représenté, les première et deuxième grilles sont respectivement portées à 10 kV et 16 kV, tandis que la couche 4 la plus proche de la

fenêtre 7 est mise à la masse et la couche 4 la plus proche de la grille 26 est portée à 8 kV.

D'autres types d'amplificateurs à avalanches sont utilisables, par exemple des 5 amplificateurs à avalanches de type PPAC, « MICROMEGAS » (voir documents [4] et [5]) ou GEM.

On précise que le gaz ionisable est un mélange

- d'un gaz, par exemple l'argon, permettant la 10 multiplication, par avalanche, des électrons extraits du bloc 2,
- d'un gaz, par exemple le diméthyl éther ou DME, permettant de maîtriser le coefficient d'amplification de cette avalanche, et
- 15 - d'un gaz ou d'une vapeur, par exemple le triéthylamine ou TEA, apte à scintiller sous l'effet du flux d'électrons dans cette avalanche.

A titre purement indicatif et nullement limitatif, on utilise un mélange de 86% d'argon, de 12% 20 de DME et de 2% de TEA.

Des exemples d'amplificateurs gazeux à avalanche sont donnés dans les documents [4] et [5].

Chaque électron, qui sort du bloc 2 par la 25 deuxième face 8 de celui-ci, est successivement accéléré par les grilles conductrices 26 et 28 et engendre une avalanche électronique 29 essentiellement entre ces deux grilles.

De plus, cette avalanche engendre un 30 rayonnement ultraviolet 30 par interaction avec le TEA.

En regard de la deuxième grille 28, le 30 boîtier 20 comprend une fenêtre 32 qui est transparente à ce rayonnement ultraviolet et par exemple en quartz.

A l'extérieur du boîtier 20, en regard de cette fenêtre en quartz 32, on dispose une caméra 34 apte à détecter ce rayonnement ultraviolet 30.

Bien entendu si l'on utilise un mélange 5 gazeux qui émet un rayonnement lumineux (visible) par interaction avec les avalanches électroniques, on utilise une caméra apte à détecter un tel rayonnement et la fenêtre 32 est alors choisie pour être transparente à ce rayonnement.

10 De plus, au lieu d'utiliser une caméra, on peut utiliser une matrice de photodiodes en silicium amorphe (non représentée) pour détecter le rayonnement lumineux ou ultraviolet émis par interaction du mélange gazeux utilisé avec les avalanches électroniques.

15 On place alors cette matrice contre la grille 28, ce qui permet un gain en compacité et en poids.

Pour éviter des réflexions parasites de 20 lumière visible ou ultraviolette on peut noircir, par exemple en oxydant un métal approprié, la face de la couche 4 qui se trouve en regard de la grille 26.

Le bloc 2 des figures 1 et 2 peut être remplacé par le bloc 36 schématiquement représenté en perspective sur la figure 3.

25 Dans le cas de la figure 3, on utilise un matériau électriquement isolant, par exemple une céramique, un verre ou une matière plastique, ou fortement résistif, par exemple une céramique ou un oxyde, avec une résistivité au moins égale à  $10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ , 30 et le bloc 36 est un empilement de couches 37 de ce matériau ou peut même être fait de ce matériau à l'état massif.

Dans le cas de la figure 3, le bloc 36 comprend aussi une première couche conductrice 38 et une deuxième couche conductrice 40 respectivement formées au niveau de la première face et au niveau de 5 la deuxième face du bloc 36.

Ces couches conductrices 38 et 40 peuvent être remplacées par des grilles conductrices.

On voit aussi sur la figure 3 les fentes parallèles 14 qui traversent ce bloc 36 et sont 10 perpendiculaires aux première et deuxième faces de celui-ci.

Dans ce cas, le champ électrique est simplement créé grâce à des moyens (non représentés) aptes à porter la deuxième couche conductrice 40 à une 15 haute tension positive, la première couche conductrice 38 étant mise à la masse.

A titre purement indicatif et nullement limitatif, les couches 4 sont en tungstène et les couches 6 en kapton (marque déposée), la distance entre 20 la deuxième face 8 et la première grille 26 vaut 1,5 mm et la distance entre les deux grilles 26 et 28 vaut 3 mm, l'épaisseur du bloc 2 ou 36 vaut 30 mm, l'épaisseur des couches conductrices 4 vaut 250  $\mu\text{m}$ , l'épaisseur des couches isolantes 6 vaut environ 50  $\mu\text{m}$  25 à 500  $\mu\text{m}$ , l'épaisseur des couches conductrices 38 et 40 vaut 10  $\mu\text{m}$ , ces couches conductrices 38 et 40 sont en cuivre, la largeur des fentes 14 vaut 500  $\mu\text{m}$ , leur longueur L vaut environ 10 cm à 50 cm et ces fentes sont séparées les unes des autres d'une distance de 30 700  $\mu\text{m}$ .

Au lieu du tungstène on pourrait utiliser le plomb ou encore l'uranium appauvri en uranium 235 pour former les couches 4.

Au lieu d'être perpendiculaires à la première face 7 du bloc 2 ou 36, les fentes 14 ou, plus exactement, les plans de celles-ci, c'est-à-dire les plans médiateurs des fentes, plans qui s'étendent suivant la longueur de celles-ci et qui ont une trace notée X dans le plan de coupe de la figure 4, peuvent faire un angle  $\alpha$  de l'ordre de  $1^\circ$  à  $5^\circ$  avec un plan dont la trace est notée Y et qui est perpendiculaire à cette première face 7 comme l'illustre schématiquement la figure 4.

On augmente ainsi avantageusement le pouvoir d'arrêt vis-à-vis du rayonnement ionisant incident, à condition d'orienter le détecteur de façon que ce rayonnement arrive sur la face 7 du bloc 2 ou 36 suivant une direction perpendiculaire à la couche 4 ou 38.

On précise en outre que l'épaisseur du bloc 2 ou 36 est choisie en fonction du pouvoir d'arrêt recherché.

De plus, les dimensions des fentes 14 et des couches constitutives du bloc 2 ou 36 sont choisies pour optimiser la résolution spatiale du détecteur correspondant et le rendement de collection (des électrons engendrés dans les fentes) de ce détecteur.

Il convient de noter que, dans l'art antérieur, l'épaisseur totale des plaques métalliques (comptée parallèlement au rayonnement ionisant incident) était choisie pour pouvoir attaquer chimiquement ces plaques métalliques.

Dans le détecteur des figures 1 et 2, comme dans celui de la figure 3, l'épaisseur totale des couches constitutives du bloc 2 ou 36 est entièrement

fixée par les contraintes d'application du champ électrique (ou plus précisément électrostatique).

Ces couches peuvent être très minces ou, au contraire, très épaisses car l'usinage des fentes est toujours possible.

L'utilisation de fentes conformément à l'invention, au lieu de trous, permet d'améliorer de façon spectaculaire le rendement du détecteur mais aussi, ce qui est inattendu, la résolution spatiale de ce détecteur.

En effet, en considérant l'exemple de la figure 2, suivant la direction D1 perpendiculaire aux fentes 14, la résolution spatiale est déterminée par le pas entre ces fentes et, suivant la direction D2 perpendiculaire à D1, ne limite pas la diffusion des électrons qui dérivent dans les fentes mais l'expérience montre que cette diffusion des électrons n'est pas très importante et présente même une distribution de probabilité dont la largeur à mi-hauteur est inférieure au pas entre les fentes 14, ce pas valant par exemple  $500 \mu\text{m} + 700 \mu\text{m} = 1,2 \text{ mm}$ .

La figure 5 est une vue en perspective schématique d'un autre détecteur conforme à l'invention.

Dans le cas de la figure 5, le détecteur comprend un bloc 42 qui est un empilement de lames 44 d'un matériau convertisseur électriquement isolant ou fortement résistif, par exemple en céramique ou en matière plastique, lames qui sont espacées les unes des autres par des cales inférieures 46 et des cales supérieures 48.

Ces cales sont par exemple en matière plastique.

Ces cales permettent la formation des fentes 14 entre les lames, chaque fente 14 étant délimitée par deux plaques voisines, une cale inférieure 46 et une cale supérieure 48.

5 Comme précédemment, les fentes 14 sont remplies d'un milieu fluide ionisable par les particules émises lors de l'interaction du rayonnement ionisant incident avec les lames 44.

10 Ce bloc 42 comprend aussi une première couche conductrice 49 et une deuxième couche conductrice 50 respectivement formées au niveau de la première face et au niveau de la deuxième face du bloc pour créer (en portant la première couche 49 à un premier potentiel électrique et la deuxième couche 50 à 15 un deuxième potentiel électrique qui est supérieur au premier potentiel) le champ électrique permettant d'extraire du bloc 42 les électrons résultant de l'ionisation.

20 On peut, comme dans le cas de la figure 3, installer, à la place des couches 49 et 50, deux grilles électriquement conductrices, l'une au niveau de la première face du bloc, l'autre au niveau de la deuxième face.

25 On voit sur la figure 5 que ces couches (ou ces grilles) 49 et 50 sont pourvues de fentes, telles que les fentes 51, respectivement en regard des fentes 14 et prolongeant ces dernières.

30 On donne maintenant des exemples de procédés de fabrication d'un détecteur conforme à l'invention.

Dans le cas où le bloc est une alternance de couches conductrices et de couches isolantes on

commence par fixer ces couches les unes aux autres par exemple par collage.

Dans le cas où le bloc est fait d'un matériau isolant massif on commence par fixer, par 5 exemple par collage, les deux couches conductrices respectivement aux première et deuxième faces de ce bloc massif.

Dans le cas où l'on utilise un matériau isolant sous forme de couches on commence par fixer ces 10 couches les unes aux autres par exemple par collage puis l'on fixe encore les première et deuxième couches conductrices respectivement aux première et deuxième faces du bloc par exemple par collage.

Le bloc étant obtenu, on forme alors les 15 fentes par exemple par découpe par jet d'eau, par découpe par étincelage ou par découpe par un fil tendu déroulant.

On précise que le collage présente l'avantage, notamment dans le cas de la découpe par jet 20 d'eau, d'éviter une dispersion accidentelle du jet d'eau entre les couches lors de la découpe.

Avant la formation de chaque fente, on peut former un trou (pré-perçage) à travers le bloc puis former la fente à partir de ce trou par exemple au 25 moyen d'un jet d'eau émis par une buse que l'on déplace par rapport au bloc.

Ce trou, que l'on peut par exemple former par attaque chimique ou toute autre technique, permet d'éviter un choc frontal dû à l'ouverture du jet d'eau.

30 Cependant, la formation d'un tel trou n'est pas nécessaire si les matériaux utilisés pour former le bloc ne s'écaillent pas.

La formation des fentes est donc très rapide.

En tant que milieu fluide ionisable, on peut utiliser, au lieu d'un gaz, un liquide comme par exemple Xe, ou une phase supercritique comme par exemple CO<sub>2</sub>.

Les documents cités dans la présente description sont les suivants :

10 [1] V. Perez-Mendez, S.I. Parker, IEEE Trans. Nucl.Sci. NS-21 (1974) 45

[2] S.N. Kaplan, L. Kaufman, V. Perez-Mendez, K. Valentine, Nuclear Instruments and Methods 106 (1973) 397

15 [3] A.P. Jeavons, G. Charpak, R.J. Stubbs, NIM 124 (1975) 491-503

[4] FR 2739941 A, « Détecteur de position, à haute résolution, de hauts flux de particules ionisantes », Invention de G. Charpak, I. Giomataris, Ph. Rebourgard et J.P. Robert - voir aussi demande internationale WO 97/14173

20 [5] FR 2762096 A, « Détecteur de particules à électrodes parallèles multiples et procédé de fabrication de ce détecteur », Invention de G. Charpak, I. Giomataris, Ph. Rebourgard et J.P. Robert - voir aussi EP 0872874 A

25 [6] J.L. Gerstenmayer, D. Lebrun et C. Hennion, « Multi Step Parallel Plate Avalanche Chamber as a 2D imager for MeV pulsed radiography »,

Proceedings, in SPIE, vol.2859, pages 107 à 114,  
colloque SPIE, 7-8 août 1996, Denver Colorado

[7] J.L. Gerstenmayer, « High DQE performance X- and  
Gamma-ray fast imagers : emergent concepts », 1998  
5 Symposium on Radiation Detection and Measurement,  
Ann Arbor, Michigan, 11 au 14 mai 1998,  
Proceedings in Nuclear and Methods in Physics  
Research A.

**REVENDICATIONS**

1. DéTECTEUR bidimensionnel d'un rayonnement ionisant incident (9) constitué de premières particules, ce détECTEUR comprenant un bloc (2, 36, 42) formé à partir d'un matériau convertisseur qui est apte à émettre des deuxièmes particules par interaction avec le rayonnement ionisant incident, le bloc ayant une épaisseur au moins égale au dixième du libre parcours moyen des premières particules dans le matériau, ce détECTEUR étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre des fentes parallèles (14) qui traversent le bloc et sont remplies d'un milieu fluide capable d'interagir avec les deuxièmes particules pour produire des troisièmes particules, ces dernières étant représentatives, en intensité et en position, du rayonnement incident, le bloc étant orienté de façon à présenter, à ce rayonnement incident, une première face (7) sur laquelle débouchent les fentes.

2. DéTECTEUR selon la revendication 1, dans lequel les fentes (14) sont perpendiculaires à la première face (7) du bloc (2, 36).

3. DéTECTEUR selon la revendication 1, dans lequel les plans des fentes (14) font un angle ( $\alpha$ ) de l'ordre de  $1^\circ$  à  $5^\circ$  avec une droite (Y) perpendiculaire à la première face (7) du bloc.

4. DéTECTEUR selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel le milieu fluide est apte à être ionisé par les deuxièmes particules, ce milieu fluide produisant alors des électrons qui constituent ainsi les troisièmes particules, et le détECTEUR comprend en outre des moyens (R1 ... Rn, 38-40) de création d'un champ électrique apte à extraire ces électrons du bloc.

5. Détecteur selon la revendication 4, dans lequel le milieu fluide est gazeux.

6. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 4 et 5, comprenant en outre des moyens 5 (24-26, 34) d'analyse des électrons ainsi extraits du bloc.

7. Détecteur selon la revendication 6, dans lequel les moyens d'analyse comprennent un amplificateur gazeux à avalanches, apte à produire des 10 avalanches d'électrons (29) à partir des électrons extraits du bloc.

8. Détecteur selon la revendication 7, dans lequel le milieu fluide est gazeux et apte à convertir les avalanches d'électrons en un rayonnement lumineux 15 ou ultraviolet (30) et dans lequel les moyens d'analyse comprennent en outre des moyens (34) de détection de ce rayonnement lumineux ou ultraviolet.

9. Détecteur selon la revendication 8, dans lequel les moyens de détection du rayonnement lumineux 20 ou ultraviolet comprennent une caméra (34) apte à détecter ce rayonnement lumineux ou ultraviolet ou une matrice de photodiodes en silicium amorphe placée contre l'amplificateur gazeux à avalanches.

10. Détecteur selon l'une quelconque des 25 revendications 4 à 9, dans lequel le matériau est électriquement conducteur et le bloc (2) est un empilement de couches (4) de ce matériau, ces couches alternant avec des couches (6) électriquement isolantes, l'empilement commençant par une couche (4) 30 du matériau au niveau de la première face (7) du bloc et se terminant également par une couche (4) de ce matériau au niveau d'une deuxième face (8) du bloc, qui est opposée à la première face et sur laquelle

débouchent les fentes, le détecteur comprenant en outre des moyens (R1 ... Rn) prévus pour porter les couches du matériau à des potentiels électriques qui croissent de la première face à la deuxième face afin de créer le 5 champ électrique.

11. Détecteur selon la revendication 10, dans lequel la couche (4) du matériau qui est située au niveau de la deuxième face (8) du bloc est noircie pour éviter les réflexions parasites de lumière.

10 12. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 4 à 9, dans lequel le matériau est électriquement isolant ou fortement résistif, le bloc (36) est un empilement de couches (37) de ce matériau ou est fait de ce matériau à l'état massif, ce bloc 15 comprenant en outre des première et deuxième couches ou grilles (38, 40) qui sont électriquement conductrices et respectivement formées au niveau de la première face (7) et au niveau d'une deuxième face (8) du bloc, qui est opposée à la première face et sur laquelle 20 débouchent les fentes, le champ électrique étant créé en portant la première couche ou grille à un premier potentiel électrique et la deuxième couche ou grille à un deuxième potentiel électrique qui est supérieur au premier potentiel.

25 13. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 1, 2 et 4 à 9, dans lequel le bloc (42) est un empilement de lames (44) faites d'un matériau convertisseur isolant ou fortement résistif et espacées les unes des autres par des cales (46, 48) prévues pour 30 définir les fentes parallèles (14) du bloc, ce bloc comprenant en outre des première et deuxième couches ou grilles (49, 50) qui sont électriquement conductrices et respectivement formées au niveau de la première face

(7) et au niveau d'une deuxième face (8) du bloc, qui est opposée à la première face et sur laquelle débouchent les fentes, le champ électrique étant créé en portant la première couche ou grille à un premier 5 potentiel électrique et la deuxième couche ou grille à un deuxième potentiel électrique qui est supérieur au premier potentiel.

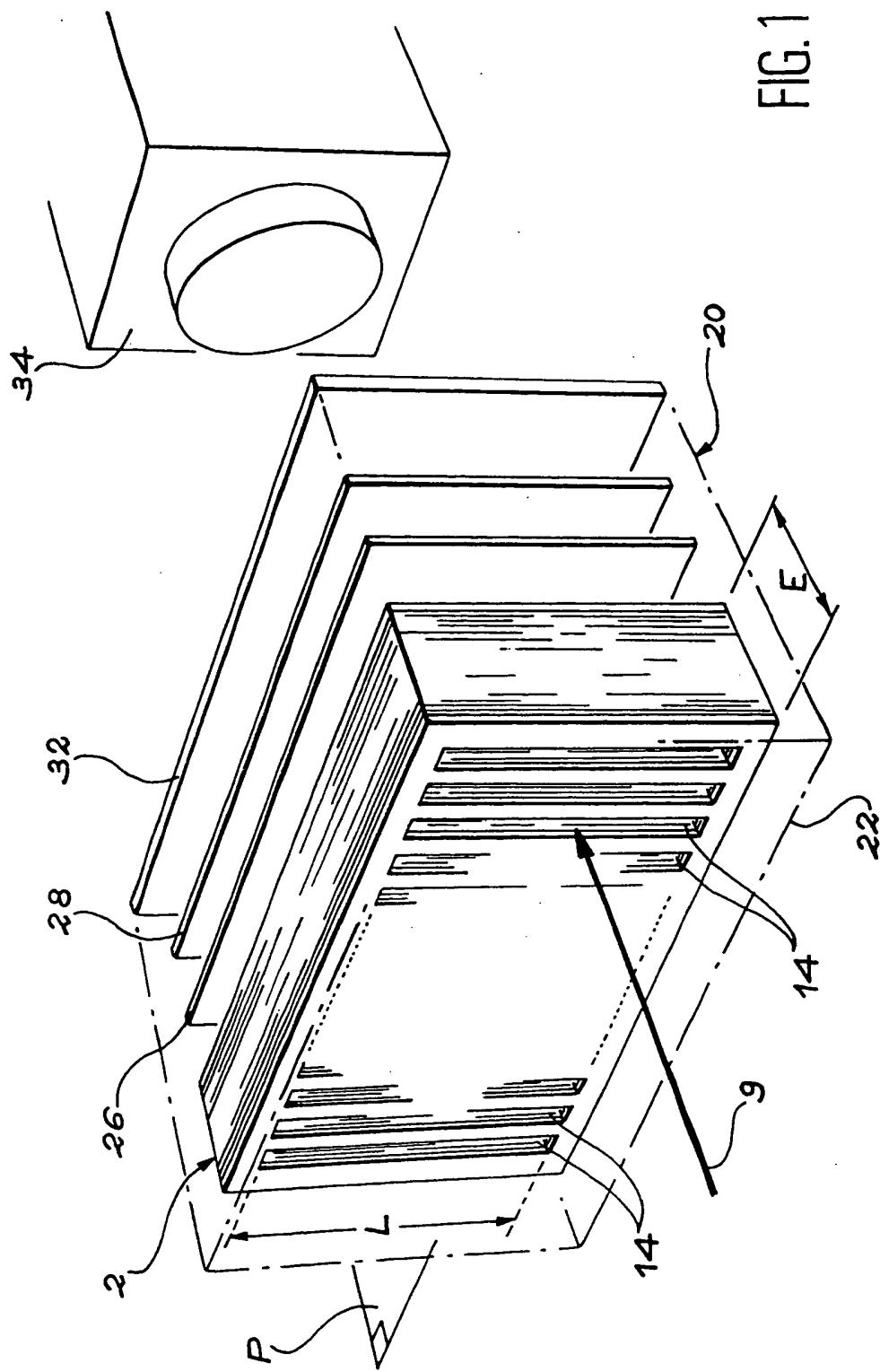
14. Procédé de fabrication du détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, dans 10 lequel on forme le bloc (2, 36) et l'on forme ensuite les fentes (14) par une technique choisie dans le groupe comprenant :

- la découpe par jet d'eau,
- la découpe par étincellage, et
- 15 - la découpe par un fil tendu déroulant.

15. Procédé selon la revendication 14, pour la fabrication du détecteur selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, dans lequel les couches (4-6, 37-38-40) utilisées sont collées les unes aux autres.

20 16. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 et 15, dans lequel, avant de former chaque fente (14), on forme dans le bloc (2, 36) un avant-trou à partir duquel on forme ensuite cette fente.

FIG. 1



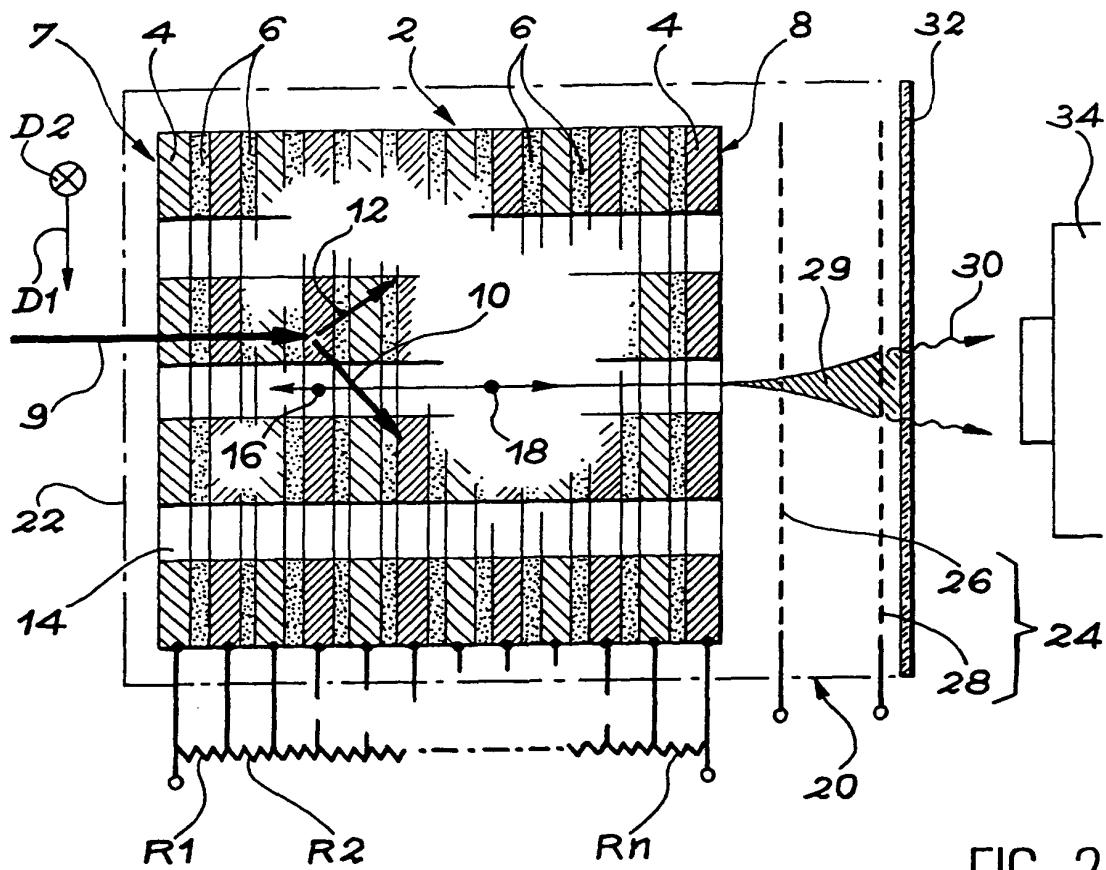


FIG. 2

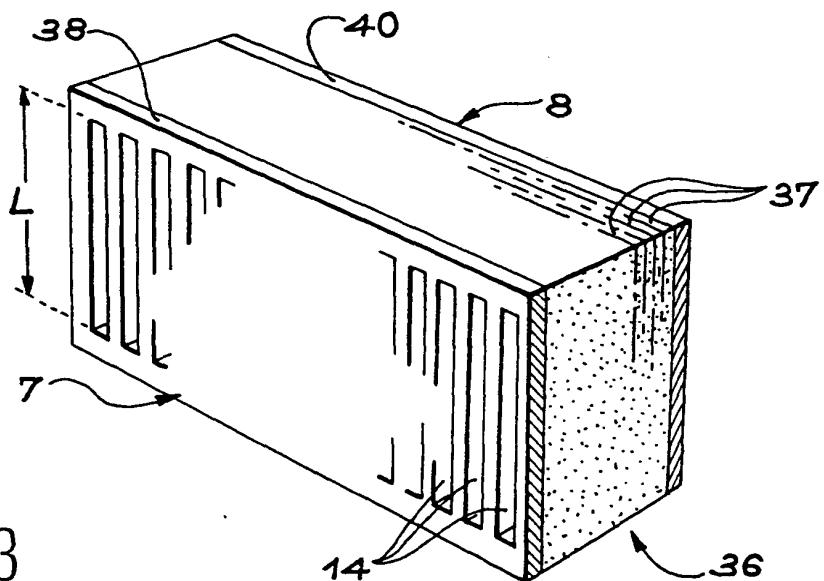


FIG. 3

